

Szakmai zárójelentés

a D048665 projektszámú OTKA posztdoktori támogatás
keretében végzett kutatásokról

A projekt keretében végzett kutatási munka során az előzetes munkatervben kitűzött valamennyi célt sikerült elérni. A tervezett kutatásokon felül néhány egyéb, szintén érdekes eredményt is elértünk.

Inelasztikus szórás

A kvantumszámításokkal kapcsolatos egyik alapvető probléma az információ koherens feldolgozása, a kvantummechanikai hullámfüggvény fázisának megőrzése. Mezoszkópikus rendszerekben (többek között) az inelasztikus szóródás következtében elveszhet a fáziskoherencia: spinhullámok, elektron-lyuk párok, fonon keletkeznek, és a koherencia elvész $\sim \tau_\phi$ idő alatt. A karakterisztikus fázisvesztési időt néhány évvel ezelőtt sikerült kísérletileg meghatározni gyenge lokalizációs mérések során. Meglepő módon azt tapasztalták, hogy τ_ϕ telítődésbe ment alacsony hőmérsékleten. E meglepő jelenség legvalószínűbb okozói a mágneses szennyezések. Ezek az előzmények motiváltak bennünket, hogy alaposan megvizsgáljuk a különféle szennyezéseken való inelasztikus szóródás hatáskeresztmetszetét.

Kiszámítottuk az elektronok inelasztikus szórási hatáskeresztmetszetének, valamint egyrészeszkés S-mátrixának energiafüggését különböző kvantum-szennyezésmodellek esetére. Megvizsgáltuk az S=1/2 egycsatornás Kondo-modellt, az Anderson-modellt, valamint a nem-Fermi-folyadék viselkedést mutató kétszatornás S=1/2 Kondo-modellt. Ez utóbbi modell tárgyalásakor megmutattuk, hogy a szórások fele inelasztikus marad T=0 hőmérsékleten, még a Fermi-felületen is.[1-4]

Ezen felül Kondo-szennyezésen való inelasztikus elektron szóródás differenciális hatáskeresztmetszetének energia-, spin-, hőmérséklet ill. mágneses tér-függését vizsgáltuk abban a határesetben, mikor a szóródó elektron energiája lényegesen nagyobb, mint a Kondo-hőmérséklet. [4]

A Kondo árnyékolási felhő problémája

Túlzás nélkül állíthatjuk, hogy a Kondo-probléma egyik fundamentális kérdése az ún. Kondo árnyékolási felhő léte ill. tulajdonságai.

A Wilson-féle numerikus renormálási csoport módszert kiterjesztettem térbeli korrélációk számítására. A módszer teszteléseként kiszámítottam a mágneses szennyezők körül felépülő spin-spin korrélációkat, az ún. Kondo árnyékolási felhőt, melynek létezése és pontos alakja a mezoszkópikus fizika egyik régi kérdése. Kiszámítottam a Kondo-korrélációk hőmérséklet-függését is.[5]

Nanoszemcsék töltődésének problémája

Nemrégiben Le Hur megmutatta, hogy a kapuelektrodához való disszipatív csatolás alapvetően befolyásolhatja a kvantum pöttyök viselkedését: míg a kvantumfluktuációk a Coulomb-blokád lépcsőinek elkenése irányában hatnak, addig eléggé erős disszipáció elnyomja ezeket a fluktuációkat, és a töltés lokalizálódását eredményezi. Munkánkban megvizsgáltuk a vázolt kvantum fázisátalakulás részleteit bozonizáció és numerikus renormálási csoport módszer alkalmazásával.[6,7]

A kutatás egyéb, az eredeti munkatervhez lazán kapcsolódó eredményei

A kölcsönható rezonáns szint modellt tanulmányoztuk, arra az esetre szorítkozva, mikor a lokalizált nívó egy hibridizálódó és tetszőleges számú árnyékoló vezetési elektron csatornával hat kölcsön. A modell egyensúlyi viselkedését gyenge ill. erős csatolású esetben perturbatív-, numerikus- ill. Anderson-Yuval-féle renormálási csoport technikával vizsgáltuk. A kételektódás geometria esetében a ráadott feszültség hatására folyó áramot a gyenge csatolás határesetében számítottuk ki. Eredményeink hasznosak lehetnek más, nemegyensúlyi módszerek tesztelésénél.[8]

A közelmúltban R. M. Potok és munkatársai sikeresen kimutatták a kétcsatornás Kondo-effektust dupla kvantum pötty rendszerekben. Ezen eredményhez kapcsolódva numerikus renormálási módszer segítségével meghatároztuk a dupla kvantum pötty rendszer frekvenciafüggő vezetőképességét. Meghatároztuk a Fermi-folyadék vs. nem-Fermi-folyadék átcsapást leíró univerzális függvényeket, és megvizsgáltuk a mágneses tér hatását. [9]

Két elektródához aszimmetrikusan csatolt kvantum pötty rendszert vizsgáltunk, arra az esetre szorítkozva, mikor a két szomszédos Coulomb-blokád völgyben a kvantum pötty spinje $S=1/2$ ill. $S=1$. Demonstráltuk, hogy ez a rendszer kvantum fázisátalakulást és spin-töltés szeparációt mutat: az átalakulás környezetében a pötty spinje kvantált, míg a töltése folytonosan változik. Az átalakulási tartományban a rendszer spin-szűrőként alkalmazható.[10]

Analitikus és numerikus renormálási csoport módszerek alkalmazásával tanulmányoztuk a két független disszipatív reservoir-hoz csatolt spin dinamikáját. Arra az eredményre jutottunk, hogy a nyitott kvantumrendszerek általunk vizsgált modellje a paramétertartományon belül sehol sem mutat túlszillapított mozgást: ezt a jelenséget a „dekoherencia kvantum-frusztrációjának” neveztük el.[11]

A közelmúlt kísérleti eredményei arra utalnak, hogy az önszerveződő kvantum pötty rendszerekben megfigyelhető exciton-rekombináció emissziós spektrumának néhány érdekes vonását magyarázhatjuk a pöttyön elhelyezkedő elektron és a környező szabad elektronok hibridizációjával. Numerikus renormálási csoport módszert használva megvizsgáltuk az erős hibridizáció esetét, mikor a rendszer Kondo-korrelációkat mutat. Numerikus eredményeink alapján azt jósoljuk, hogy az emissziós spektrum hatványfüggvény-jellegű divergenciát mutat.[12]

Analitikus és numerikus módszerek alkalmazásával megmutattuk, hogy a ferromágneses elektródákhoz kapcsolt kvantum pötty rendszerekben az effektív spin-felhasadás (tkp. az effektív mágneses tér) kontrollálható a kapu-elektroda feszültségével.[13-15]

[1] G. Zaránd, L. Borda, J. von Delft, N. Andrei, ["Theory of inelastic scattering from magnetic impurities"](#), Phys. Rev. Lett. **93**, 107204 (2004)

[2] L. Borda, L. Fritz, N. Andrei, and G. Zaránd, ["Theory of inelastic scattering from quantum impurities"](#), Phys. Rev. B **75**, 235112 (2007)

[3] G. Zaránd and L. Borda, ["Inelastic scattering from quantum impurities"](#), Physica E **40**, 5 (2007)

[4] M. Garst, P. Wölfle, L. Borda, J. von Delft, L. I. Glazman, ["Energy-resolved inelastic electron scattering off a magnetic impurity"](#), Phys. Rev. B **72**, 205125 (2005)

- [5] L. Borda, ["Kondo screening cloud in a one dimensional wire: Numerical renormalization group study"](#) , Phys. Rev. B **75**, 041307(R) (2007)
- [6] L. Borda, G. Zaránd, P. Simon, ["Dissipation-induced quantum phase transition in a quantum box"](#) , Phys. Rev. B **72**, 155311 (2005)
- [7] L. Borda, G. Zaránd, D. Goldhaber-Gordon, ["Dissipative quantum phase transition in a single electron transistor" \[cond-mat/0602019\]](#) , beküldve a Phys. Rev. Lett.-hez
- [8] L. Borda, K. Vladár, A. Zawadowski, ["Theory of a resonant level coupled to several conduction electron channels in equilibrium and out-of-equilibrium"](#) , Phys. Rev. B **75**, 125107 (2007)
- [9] A.I. Tóth, L. Borda, J. von Delft, and G. Zaránd, ["Dynamical conductance in the two-channel Kondo regime of a double dot system"](#) , Phys. Rev. B **76**, 155318 (2007)
- [10] M. Pustilnik, L. Borda, ["Phase transition, spin-charge separation, and spin filtering in a quantum dot"](#) , Phys. Rev. B **73**, 201301(R) (2006)
- [11] E. Novais, A. H. Castro Neto, L. Borda, I. Affleck, G. Zaránd, ["Frustration of Decoherence in Open Quantum Systems"](#) , Phys. Rev. B **72**, 014417 (2005)
- [12] R. W. Helmes, M. Sindel, L. Borda, J. von Delft, ["Absorption and Emission in quantum dots: Fermi surface effects of Anderson excitons"](#) , Phys. Rev. B **72**, 125301 (2005)
- [13] J. Martinek, M. Sindel, L. Borda, J. Barnas, R. Bulla, J. König, G. Schön, S. Maekawa, and J. von Delft, ["Gate-controlled spin-splitting in quantum dots with ferromagnetic leads in the Kondo regime"](#) , Phys. Rev. B **72**, 121302(R) (2005)
- [14] J. Martinek, L. Borda, Y. Utsumi, J. König, J. von Delft, D.C. Ralph, G. Schön and S. Maekawa, ["Kondo effect in single-molecule spintronic devices"](#), J. Magn. Magn. Mat. **310**, e343 (2007)
- [15] M. Sindel, L. Borda, J. Martinek, R. Bulla, J. König, G. Schön, S. Maekawa, J. von Delft, ["Kondo quantum dot coupled to ferromagnetic leads: Numerical renormalization group study"](#) , Phys. Rev. B **76**, 045321 (2007)